
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Уральский государственный университет им. А.М. Горького»

ИОНЦ «Нанотехнологии и перспективные материалы»

Физический факультет

Кафедра физики магнитных явлений

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

«ДОМЕННАЯ СТРУКТУРА ФЕРРОМАГНЕТИКОВ»

Екатеринбург
2007

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ИОНЦ
«Нанотехнологии и
перспективные материалы»
_____ В.А.Черепанов
(подпись)

(дата)

Программа дисциплины «Доменная структура ферромагнетиков» составлена в соответствии с требованиями федерального/национально-регионального (вузовского) компонента к обязательному минимуму содержания и уровню подготовки: дипломированного специалиста по специальности физика магнитных явлений (010405), бакалавра, магистра по направлению физика магнитных явлений (510411) по циклу « ПД-СД » государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования.

Семестр 7

Общая трудоемкость дисциплины 38 часов, в том числе:

Лекций 30

Практических работ 8

Контрольные мероприятия:

Коллоквиумы 1

Автор (составитель, разработчик)

Кандаурова Герта Семеновна, д.ф.-м.н, профессор, кафедра физики магнитных явлений, УрГУ; Иванов Владимир Елизарович, к.ф.-м.н., доцент, кафедра физики магнитных явлений, УрГУ; Памятных Лидия Алексеевна, к.ф.-м.н., снс, НИИ ФПМ УрГУ

Рекомендовано к печати протоколом заседания

Экспертно-конкурсной комиссии ИОНЦ «Нанотехнологии и перспективные материалы»

от _____ № _____.
(дата)

Согласовано:

Зав. кафедрой физики магнитных явлений

(название кафедры, реализующей данную дисциплину)

_____ / В.О.Васьковский /
(подпись)
« ____ » _____ 2007г.
(дата)

© Уральский государственный университет

© Г.С.Кандаурова, В.Е.Иванов, Л.А.Памятных, 2007

I. Введение

Цель и задачи курса

Спецкурс «**Доменная структура ферромагнетиков**» является модернизацией традиционного курса с таким же названием, который был создан и длительное время преподавался студентам кафедры магнетизма профессором Кандауровой Г.С.

Цель данного курса – дать основы знаний по физике доменной структуры, которые будут связывать уровень физики магнетизма на атомном уровне с макроскопическими свойствами магнитных материалов.

Задачами данного спецкурса являются:

- усвоение студентами физики механизмов формирования доменной структуры в различных кристаллах при разных условиях;
- получение навыков предсказания вида доменной структуры в материалах с известными характеристиками;
- получение навыков применения фундаментальных положений модельной и микромагнитной теорий доменной структуры для прогнозирования работы доменосодержащих сред в различных технических устройствах.
- **Новизна** данной программы состоит в расширенном обзоре экспериментальных эффектов доменной структуры, которые могут быть использованы в технических устройствах. Кроме того, рассматриваются конкретные технические реализации, использующие чувствительность доменной структуры к магнитным и тепловым полям. В программе сделан шаг к адаптации курса "Доменная структура" для изложения студентам технических специальностей, специализирующихся на проектирование сенсорных устройств.

Для успешного овладения материалов спецкурса необходимы знания ряда вопросов, излагаемых в следующих спецкурсах:

«**Магнетизм твердых тел**» (формирование магнитного момента, магнитная анизотропия, энергии различных взаимодействий в кристалле). «**Кристаллография**» (основные типы кристаллических структур магнитоупорядоченных веществ, элементы симметрии кристаллов).

II. Содержание курса

Введение. Место дисциплины «Доменная структура ферромагнетиков» в науке о магнетизме. Связь микроскопических магнитных свойств с макроскопическими. Структура курса. Методы изучения доменной структуры и их сравнение. Экспериментальные и теоретические методы. Их взаимосвязь. Задачи теории доменной и микромагнитной структуры. Модельный и микромагнитный подход.

Экспериментальные методы изучения доменной и микромагнитной структуры.

Прямые способы наблюдения ДС. Магнитооптические методы Фарадея и Керра. Методы шумоподавления. Электронная лоренцевская микроскопия. Магнитосиловая микроскопия. Косвенные методы изучения.

Модельный подход. Виды и величины энергии взаимодействий в магнитных материалах, ответственных за формирование доменной структуры. Магнитостатическая энергия. Граничные условия. Принципы конструирования моделей доменной структуры. Модель Киттеля с открытыми полюсами. Модель Ландау - Лифшица с полностью замкнутым магнитным потоком. Модель Гудинафа и модель Гудинафа – Шимчак. Модель Малека - Камберского. Модель Коой – Энца. Расчет процесса намагничивания с учетом коэрцитивности доменных границ.

Микромагнитный подход. Вариационный метод и метод конечных элементов. Расчет энергии и ширины доменной границы Блоха. Расчет двумерной доменной границы.

Влияние внешних воздействий (основные опытные факты). Влияние кристаллографической ориентации поверхности на наблюдаемую ДС. Влияние размера кристалла, упругих напряжений, температуры и магнитной предыстории на ДС одноосных и многоосных ферромагнетиков. Фотоиндуцированные доменные структуры.

Динамика доменных границ. Феноменологическое осцилляторное уравнение и условия его применимости. Уравнение Ландау – Лифшица для движения магнитного момента в магнитном поле. Уокеровский предел. Подвижность цилиндрических доменов. «Жесткие» ЦД. Динамические превращения ЦД. Динамика стенок, содержащих блоховские линии.

Динамика доменной структуры. Поведение полосовых доменов в переменном поле. Дрейф системы полосовых доменов на примере кристаллов кремнистого железа. Поведение ДС одноосных кристаллов в переменном и импульсном поле. Низкочастотная динамика доменной структуры в пленках с перпендикулярной анизотропией. Высокачастотная динамика доменной структуры.

Физические основы визуализации пространственно неоднородных магнитных полей. Предпосылки практического создания и применения сред для регистрации

тепловых и магнитных полей. Визуализация полей рассеяния при помощи доменосодержащих сред с перпендикулярной анизотропией. Визуализация полей рассеяния при помощи доменосодержащих сред с плоскостной анизотропией. Моделирование полей рассеяния магнитных систем.

Практические реализации принципов визуализации неоднородных магнитных полей. Приборы для визуализации и восстановления стертой или испорченной записи на магнитных носителях. Приборы для анализа магнитных сигналограмм. Программно-аппаратный комплекс для установления подлинности идентификационных номеров на агрегатах автомобильного транспорта. Прибор для углубленной проверки магнитных защитных признаков Сканер магнитной защиты документов. Визуализатор поля рассеяния магнитных систем.

Физические основы визуализации пространственно неоднородных тепловых полей. Моделирование неоднородных тепловых полей. Визуализация распределения мощности в луче лазера при помощи аморфных пленок РЗМ – ПМ. Действие пространственно – неоднородного температурного поля на доменную структуру ферромагнитных одноосных пленок. Моделирование температурного поля точечного источника тепла.

15 лекций

Лекция 1. **Введение.** Место дисциплины «Доменная структура ферромагнетиков» в науке о магнетизме. Связь микроскопических магнитных свойств с макроскопическими. Структура курса. Методы изучения доменной структуры и их сравнение. Экспериментальные и теоретические методы. Их взаимосвязь. Задачи теории доменной и микромагнитной структуры. Модельный и микромагнитный подход.

Лекция 2. **Экспериментальные методы изучения доменной и микромагнитной структуры.** Прямые способы наблюдения ДС. Метод порошковых фигур Акулова Биттера. Магнитооптические методы Фарадея и Керра. Методы шумоподавления. Электронная лоренцевская микроскопия. Магнитосиловая микроскопия. Косвенные методы изучения.

Лекция 3. **Энергии взаимодействий в магнитных материалах, ответственных за формирование доменной структуры.** Обменная энергия. Энергия магнитной анизотропии. Зеемановская энергия. Энергия упругих напряжений.

Лекция 4. **Магнитостатическая энергия.** Граничные условия. Принципы конструирования моделей доменной структуры.

Лекция 5. **Модель Ландау - Лифшица** с полностью замкнутым магнитным потоком. Расчет ширины доменов в трехосном кристалле.

Лекция 6. **Модель Киттеля** с открытыми полюсами. Модель Малека - Камберского. Модель Коой – Энца. Модель Гудинафа и Гудинафа – Шимчак.

Лекция 7. **Микромагнитный подход.** Вариационный метод и метод конечных элементов. Расчет энергии и ширины доменной границы Блоха. Расчет двумерной доменной границы. Расчет зарождения микромагнитной неоднородности.

Лекция 8. **Влияние внешних воздействий** (основные опытные факты). Влияние кристаллографической ориентации поверхности на наблюдаемую ДС. Влияние размера кристалла и магнитной предыстории на вид и параметры ДС.

Лекция 9. **Влияние внешних воздействий ч.2.** Влияние упругих напряжений. Влияние температуры. Температурные зависимости параметров ДС ферромагнитных кристаллов и аморфных пленок. Спиновая переориентация. Фотоиндуцированные доменные структуры.

Лекция 10. **Динамика доменных границ.** Феноменологическое осцилляторное уравнение и условия его применимости. Уравнение Ландау – Лифшица для движения магнитного момента в магнитном поле. Уокеровский предел. Подвижность цилиндрических доменов. «Жесткие» ЦД. Динамические превращения ЦД. Динамика стенок, содержащих блоховские линии.

Лекция 11. **Динамика доменных границ в проводящих средах.** Зависимость скорости движения доменной границы от размеров кристалла. Различие динамики доменных границ в диэлектриках и проводящих средах.

Лекция 12. **Динамика доменной структуры.** Поведение полосовых доменов в переменном поле. Дрейф системы полосовых доменов на примере кристаллов кремнистого железа. Поведение ДС одноосных кристаллов в переменном и импульсном

поле. Низкочастотная динамика доменной структуры в пленках с перпендикулярной анизотропией. Высокачастотная динамика доменной структуры.

Лекция 13. **Физические основы визуализации пространственно неоднородных магнитных полей.** Визуализация полей рассеяния при помощи доменосодержащих сред с перпендикулярной анизотропией. Визуализация полей рассеяния при помощи магнитных пленок с плоскостной анизотропией. Систематизация характерных картин ДС, визуализирующих поле простых магнитных систем. Моделирование полей рассеяния магнитных систем.

Лекция 14. **Физические основы визуализации пространственно неоднородных тепловых полей.** Визуализация распределения мощности в луче лазера при помощи поликристаллических пермаллоевых пленок и аморфных пленок РЗМ – ПМ. Действие пространственно – неоднородного температурного поля на доменную структуру ферромагнитных одноосных пленок. **Моделирование температурного поля.** Понятие о температурном поле. Элементарная теория распределения температуры при наличии источников тепла.

Лекция 15. **Практические реализации принципов визуализации неоднородных магнитных полей.** Приборы для визуализации и восстановления стертой или испорченной записи на магнитных носителях. Программно – аппаратный комплекс для установления подлинности идентификационных номеров на агрегатах автомобильного транспорта. Сканер магнитной защиты документов.

**Список вопросов, входящих в экзаменационные билеты.
спецкурса «Доменная структура ферромагнетиков»**

1. Модельный и микромагнитный подход в теории доменной структуры.
2. Прямые способы наблюдения ДС и косвенные методы изучения.
3. Виды и величины энергии взаимодействий в магнитных материалах, ответственных за формирование доменной структуры
4. Магнитостатическая энергия. Граничные условия. Принципы конструирования моделей доменной структуры
5. Модель Ландау - Лифшица с полностью замкнутым магнитным потоком для одноосных и многоосных магнетиков.

6. Расчет энергии и ширины доменной границы Блоха.
7. Влияние кристаллографической ориентации поверхности на наблюдаемую ДС.
8. Вид доменной структуры кристаллов железа при различной ориентации кристаллографических осей относительно ограничивающих поверхностей.
9. Влияние магнитной предыстории на доменную структуру одноосных кристаллов.
10. Модель Киттеля с открытыми полюсами
11. Модель Гудинафа и модель Гудинафа – Шимчак.
12. Модель Малека - Камберского.
13. Модель Коой – Энца. . Расчет процесса намагничивания с учетом коэрцитивности доменных границ.
14. Метод конечных элементов. Расчет структуры двумерной доменной границы.
15. Спиновая переориентация при действии упругих напряжений и изменении температуры.
16. Влияние размера (толщины) одноосного кристалла на доменную структуру.
17. Феноменологическое уравнение динамики доменной границы и Уравнение Ландау – Лифшица для движения магнитного момента в магнитном поле.
18. Динамика доменных границ в проводящих средах.
19. Особенности динамического поведения доменной структуры переменном поле. Дрейф системы полосовых доменов.
20. Физические основы визуализации пространственно неоднородных магнитных полей.
21. Физические основы визуализации пространственно неоднородных тепловых полей.

III. Распределение часов курса по темам и видам работ

№ п/п	Наименование разделов и тем	ВСЕГО (часов)	Аудиторные занятия (час)		Самостоятельна я работа часов
			в том числе		
			Лекции	Практические (семинары, лабораторные работы)	
1	Введение.	2,5	2		0,5
2	Экспериментальные методы изучения доменной и микромагнитной структуры.	2,5	2		0,5
3	Энергии взаимодействий в магнитных материалах, ответственных за формирование доменной структуры.	2,5	2		0,5
4	Магнитостатическая энергия.	2,5	2		0,5
5	Модель Ландау - Лифшица	2,5	2		0,5
6	Модель Киттеля	2,5	2		0,5
7	Микромагнитный подход.	2,5	2		0,5
8	Влияние внешних воздействий ч. 1	3	2		1
9	Влияние внешних воздействий ч.2	3	2		1
10	Динамика доменных границ.	2,5	2		0,5
11	Динамика доменных границ в проводящих средах.	2,5	2		0,5
12	Динамика доменной структуры.	2,5	2		0,5
13	Физические основы визуализации пространственно неоднородных магнитных полей.	2,5	2		0,5
14	Физические основы визуализации пространственно неоднородных тепловых полей.	2,5	2		0,5
15	Практические реализации принципов визуализации неоднородных магнитных полей	2,5	2		0,5
16	Лабораторная работа	4,5		4	0,5
17	Лабораторная работа	4,5		4	0,5
	ИТОГО:	47,5	30	8	9,5

IV. Форма итогового контроля

Экзамен

V. Учебно-методическое обеспечение курса

1. Рекомендуемая литература (основная)

01. Сб. Физика ферромагнитных областей. М.,1951.
02. Кандаурова Г.С., Оноприенко Л.Г. Основные вопросы теории магнитной доменной структуры. Св-к, 1977.
03. Кандаурова Г.С., Оноприенко Л.Г. Доменная структура магнетиков. Основные вопросы микромагнетики. Св-к, 1986..
04. Хуберт Т. Теория доменных стенок в упорядоченных средах. М.,1977.
05. Лисовский Ф.В. Физика цилиндрических магнитных доменов. М.,1979.
06. Малоземов А., Дж. Слонзуски. Доменные стенки в материалах с цилиндрическими доменами. М.,1982.
- 07.. Суху Р. Магнитные тонкие пленки.М.,1967.
08. Филиппов Б.Н., Танкеев А.П. Динамические эффекты в магнетиках с доменной структурой. М.,1987.
09. Барьяхтар В.Г., Горобец Ю.И. Цилиндрические магнитные домены и их решетки. Киев.Наукова думка.1988.
10. Рандошкин В.В., Червоненкис А.Я. Прикладная магнитооптика. М.,1990.
11. Власова Н.И., Кандаурова Г.С., Оноприенко Л.Г., Щеголева Н.Н. Кооперативные доменные структуры в высокоанизотропных сплавах с двойниковой микроструктурой. Успехи физ. наук. Т.162, №5, 1992.
12. Зайкова В.А., Старцева И.Е., Филиппов Б.Н. Доменная структура и магнитные свойства электротехнических сталей. М.,1992, 270 с.

2. Рекомендуемая литература (дополнительная)

A. Hubert, R. Schäfer, Magnetic Domains. The Analysis of Magnetic Microstructures. Springer; 1998. 720 p.